

АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЙ КОНТРОЛЬ, ЕГО ОСОБЕННОСТИ И ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ

Л.А. Оглезнева, В.К. Кулешов

Кафедра «Физические методы и приборы контроля качества»

Томский политехнический университет

E-mail: oglezneva79@mail.ru

Последовательно изложена технология акустико-эмиссионного контроля, приведена основная нормативная документация по контролю с применением данного метода, отмечены особенности применения метода для различных объектов. Рассмотрены вопросы метрологического обеспечения акустико-эмиссионного метода контроля.

Метод акустической эмиссии (АЭ) в последние годы широко используется для исследования разрушения материалов и для неразрушающего контроля материалов конструкций, поскольку позволяет контролировать энергетику этих процессов в реальном масштабе времени без какого-либо дополнительного воздействия на сам процесс. Результаты таких исследований находят свое применение в понимании микро- и макромеханизмов разрушения и в задачах диагностирования прочностного состояния конструкций [1].

Метод АЭ неразрушающего контроля основан на регистрации и последующей обработке параметров акустических сигналов ультразвукового диапазона, сопровождающих локальную перестройку структуры материала, зарождение и развитие микро- и макродефектов [2].

АЭ контроль позволяет обнаруживать и определять местонахождение дефектов типа трещин, в том числе микротрещин, расслоений, коррозии, водородного охрупчивания, различных дефектов сварных швов, утечек и т. п.

По сравнению с традиционными методами неразрушающего контроля, такими, как ультразвуковой контроль, радиография, цветная дефектоскопия и т. п., метод АЭ контроля обладает следующими преимуществами:

- метод АЭ контроля не является сканирующим и не требует тщательной подготовки поверхности для контроля. Это позволяет выполнять контроль без остановки оборудования для подготовительных работ и уменьшает вероятность субъективных ошибок;
- данный метод по объему контроля является глобальным. Путем установки нескольких датчиков выполняется контроль всего объекта с определением мест возникновения и развития дефектов (режим локации). Это позволяет использовать данный метод для контроля недоступных поверхностей, а также, осуществлять непрерывный контроль (мониторинг) объекта во время функционирования и перейти от периодических технических освидетельствований к эксплуатации объекта по его фактическому техническому состоянию;
- метод АЭ контроля обеспечивает обнаружение и регистрацию только развивающихся, а значит, действительно опасных дефектов, и осуществляет их классификацию не по размерам, а по степени опасности. Это означает, что некоторые, например округлые дефекты, размер которых превышает браковочный уровень традиционных методов неразрушающего контроля, при использовании АЭ контроля могут попасть в класс неопасных, поскольку существуют, не развиваясь во время работы объекта. Это позволяет обоснованно отменить остановку объекта и ремонтные работы, которые в ряде случаев только снижают надежность объекта [3].

Нормативные документы

Применение метода АЭ для диагностики объектов промышленности регламентировано рядом документов, действующих в РФ:

ГОСТ 27655–88. Акустическая эмиссия. Термины, определения и обозначения.

ПБ 03–593–03 Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов.

РД 03-299-99 Требования к акустико-эмиссионной аппаратуре, используемой для контроля опасных производственных объектов.

РД 03-300-99 Требования к преобразователям акустической эмиссии, применяемым для контроля опасных производственных объектов.

ГОСТ Р 52727-2007 Техническая диагностика. Акустико-эмиссионная диагностика. Общие требования.

Методики АЭ контроля на конкретный вид объекта разрабатываются в организациях в соответствии с вышеприведённой документацией.

Технология АЭ диагностики

Работы по АЭ диагностике проводятся по программе, которая разрабатывается индивидуально на каждый обследуемый объект и регламентирует все этапы проведения контроля, критерии оценки качества, способы анализа результатов. Перед проведением АЭ контроля исполнитель должен тщательно изучить объект контроля с целью получения данных для разработки конкретной технологии АЭ контроля данного объекта [4].

Необходимые акустические и АЭ параметры объекта контроля – это данные о характере посторонних шумов, затухании упругих колебаний в объекте в том диапазоне, который используется для контроля и измерение скорости распространения сигнала АЭ в материале конструкции. Исследование акустических свойств объекта проводится для получения данных, которые используют для составления схемы расстановки преобразователей АЭ, определения их количества, установления критерия, по которому оценивается состояние объекта контроля по результатам АЭ контроля.

Метод акустической эмиссии реализуется в процессе активного нагружения контролируемого объекта. Для проведения АЭ диагностики к объекту контроля должны быть приложены статические и/или динамические нагрузки повышением давления при гидравлических или пневматических испытаниях, либо должны быть созданы поля напряжений механическим нагружением объекта.

Испытания объекта разделяют на два этапа: предварительный и рабочий. Предварительные испытания проводят при циклическом нагружении в диапазоне давлений 0–1/4 рабочего давления с целью исследования объекта контроля как акустического канала, устранения источников шумов и установления уровня дискриминации, расстановки преобразователей, проверки чувствительности используемых каналов аппаратуры, опрессовки заглушек и уплотнений. На рабочем этапе происходит сбор информации контроля.

При контроле методом АЭ на конструкции устанавливаются несколько стационарных датчиков, позволяющих контролировать объем в пределах сферы их действия. Точность определения координат дефектных мест крупногабаритных объектов составляет порядок толщины стенки объекта контроля, что часто не позволяет определять глубину залегания дефектов в толстостенных конструкциях. Однако этот недостаток покрывается возможностью определения степени опасности растущих дефектов самых малых размеров. Кроме того, если требуется определять координаты дефектов с большей точностью, можно провести более детальную инспекцию другими методами [1].

Выбор схемы расстановки преобразователей осуществляется исходя из задач контроля и возможностей аппаратуры. Определение координат источников АЭ происходит по разности времени прихода сигнала на группу датчиков.

Схема расстановки датчиков определяется задачей контроля, требуемой точностью локации источников АЭ. Типы локации разделяются на линейную и пространственную. Существуют следующие схемы локации:

- независимое размещение;
- зональное размещение;
- линейное размещение;
- прямоугольное размещение;
- треугольное размещение.

После расстановки преобразователей производится проверка их чувствительности и калибровка системы локации.

Калибровка системы осуществляется при помощи датчика-имитатора, если таковой входит в состав системы, или излома графитового стержня карандаша (источник Су-Нильсена). Диаметр стержня выбирают в диапазоне 0,2–0,5 мм, твердость ТМ – 2Т (НВ – 2Н) [4].

В АЭ системах обработка и анализ акустических сигналов осуществляется в следующем порядке:

- одновременно с оцифровкой поступающего сигнала АЭ локализуется пространственное положение источника АЭ и отбрасываются ложные сигналы;
- импульсы, местоположение которых может быть точно локализовано, поступают в ходе обработки в блок спектрально анализа и в блоки определения параметров АЭ (энергетические характеристики и число событий АЭ).

После испытаний обработка данных производится с помощью набора специальных программ. Определяется локализация источников, оценка уровня опасности. С развёртки места локации источники АЭ переносятся на эскиз объекта контроля и определяются места нарушения.

Исследования явления АЭ, проводимые в различных условиях и на различных материалах, показывают, что сигналы АЭ имеют широкий спектр амплитудно-временных параметров. Сигнал АЭ может быть зарегистрирован на любой частоте, но амплитуда регистрируемого сигнала убывает пропорционально частоте. По этой причине очевидно стремление к регистрации АЭ сигналов на низких частотах, тем более что затухание упругих волн существенно возрастает с увеличением частоты. Однако с уменьшением частоты возрастают акустические помехи преобразователя АЭ сигналов и электронной аппаратуры. Этот факт налагает жёсткие требования, предъявляемые не только к регистрируемой аппаратуре, но и методам обработки и анализа информации. Кроме собственных шумов аппаратуры тракты приёма и обработки информации могут быть подвержены внешним шумам, для уменьшения которых широкое распространение получили активные и пассивные способы подавления помех [1].

Активные способы подавления помех заключаются в подавлении самого источника шума или уменьшении его влияния на исследуемый объект. Данный способ в основном используется для подавления шумов механического характера, создаваемых самим испытательным оборудованием: механическими и гидравлическими нагружающими машинами. Активные способы эффективны при проведении испытаний материалов в лабораторных условиях. При проведении исследований, контроля и прогноза на реальных объектах активные способы практически невозможно реализовать.

Пассивные методы борьбы с шумами и помехами используются практически во всех устройствах и системах регистрации и обработки сигналов АЭ. К ним относятся:

- амплитудная дискриминация;
- частотная фильтрация;
- временная селекция;
- параметрическая селекция;
- пространственная селекция;
- двухпараметрическая селекция;

- в некоторых системах АЭ возможно использование прямого вычитания сигналов помех из всей совокупности зарегистрированных сигналов АЭ, для чего производится предварительная запись сигналов помех в конкретных условиях работы нагружающего оборудования и действия других видов помех.

Во время постобработки полученной информации о характеристиках зарегистрированных АЭ сигналов используются механизмы фильтрации, которые основаны на характерных особенностях характеристик АЭ сигналов для различных металлов, например, отношение длительности ко времени нарастания сигнала АЭ, амплитуда сигнала, частотный диапазон, амплитуда и скорость счёта, длительность сигнала.

Результаты АЭ контроля представляют в виде перечня зарегистрированных источников АЭ, отнесённых к тому или иному классу в зависимости от значения параметров АЭ. Такую оценку производят для каждого источника АЭ сигналов. Оценка состояния контролируемого объекта производят по наличию в контролируемом объекте источников АЭ того или иного класса.

При принятии решения по результатам контроля используют данные, которые должны содержать сведения обо всех источниках АЭ, их классификации и сведения относительно источников АЭ, параметры которых превышают допустимый уровень.

После обработки принятых сигналов результаты контроля представляют в форме идентифицированных и классифицированных источников АЭ.

Выявленные и идентифицированные источники АЭ делятся на четыре класса согласно ПБ 03-593:

- источник I класса – пассивный источник;
- источник II класса – активный источник;
- источник III – критически активный источник;
- источник VI – катастрофически активный источник.

Применение конкретных систем классификации источников АЭ и критериев оценки состояния объектов зависит от механических и акустико-эмиссионных свойств материалов контролируемых объектов. Выбор системы классификации и критериев оценки состояния объекта проводят, используя перечисленные ниже системы классификации и критерии оценки состояния контролируемого объекта.

- Амплитудный критерий;
- Локально-динамический критерий;
- Критерии кода ASME;
- Система классификации источников АЭ в технологии MONPAC;
- Локационный критерий;
- По признакам развивающихся усталостных трещин;
- Интегральный критерий.
- Интегрально-динамический критерий.
- Критерий непрерывной АЭ.

Несмотря на большое количество разработанных критериев классификации источников АЭ на настоящий момент нет инструкции по прогнозированию остаточного ресурса оборудования на основании зарегистрированных сигналов АЭ, хотя имеются запатентованные методики прогнозирования остаточного ресурса, разработанные отдельными специалистами.

Аппаратура АЭ контроля

Для регистрации параметров акустической эмиссии, а также для записи формы сигналов и их длительности применяют специальную аппаратуру, которая обеспечивает прием слабых сигналов эмиссии на фоне шумов, обладает необходимым быстродей-

ствием (интенсивность эмиссии меняется в пределах от 0 до 10^5 импульсов в секунду) и малыми собственными шумами. В качестве приемников колебаний в большинстве случаев используются пьезокерамические преобразователи. Сигналы с датчиков колебаний усиливают и подвергают дальнейшей обработке с помощью электронной аппаратуры. Обычно рабочий диапазон аппаратуры: 10^4 Гц $\square$ 10^7 Гц [1].

При контроле методом АЭ на конструкции устанавливаются несколько стационарных датчиков, позволяющих контролировать объем в пределах сферы их действия. Точность определения координат дефектных мест крупногабаритных объектов составляет 5–10 см, что часто не позволяет определять глубину залегания дефектов в толсто-стенных конструкциях. Однако этот недостаток покрывается возможностью определения степени опасности растущих дефектов самых малых размеров. Кроме того, если требуется определять координаты дефектов с большей точностью, можно провести более детальную инспекцию другими методами.

Типовая АЭ система представляет собой многоканальный программно-аппаратный комплекс, предназначенный для регистрации, обработки, анализа и оценки данных АЭ испытаний конструкции. При этом, так как АЭ представляет собой стохастический, случайный процесс, важны как адекватная регистрация АЭ источников в объекте – на этом этапе играют роль технические параметры, возможности и надёжность самой АЭ аппаратуры, так и анализ зарегистрированных данных. В процессе испытаний регистрируется огромное количество информации различного происхождения (как правило, более 10000 записей). Принятие решения происходит после тщательного анализа этих данных. Можно определить соотношение временных затрат на сам контроль и обработку данных как 30 и 70 % соответственно, что требует высокой квалификации и опыта работы от специалиста, обрабатывающего данные. При этом, важное значение имеет качество и возможности поставляемого с соответствующими системами программного обеспечения, позволяющее за минимальное время разобраться в накопленной информации, проанализировать её, и выдать решение по дальнейшей эксплуатации объекта [1].

На российском рынке имеется довольно большое количество предложений по АЭ-системам. Основные из них:

1. Цифровая система A-Line 32D (фирма «Интерюнис», г. Мостква);
2. Система акустической эмиссии AMSY-5 (Vallen Systeme GmbH, Германия, в России фирма «Панатест», г. Москва);
3. Многоканальные АЭ системы серии DiSP и SAMOS (Physical Acoustic Corporation, США, компания «Диапак» в России, г. Москва)
4. Портативные АЭ комплексы серии «Эксперт» (Научно-производственное объединение «Алькор», г. Дзержинск);
5. Малахит АС-12А (ЗАО «НПФ» Диатон, г. Москва);
6. Акустико-эмиссионная система серии СДС 1008 (ЗАО «СДС», г. Москва).
7. Акустико-эмиссионные приборы серии Локус (ЗАО «ЭЛТЕСТ» г. Москва).

Важнейшие характеристики аппаратурной части:

- возможное количество каналов;
- архитектура;
- регистрируемые параметры;
- динамический диапазон, дБ;
- частотный диапазон, кГц;
- наличие входной фильтрации;
- уровень собственных шумов;
- количество регистрируемых актов в секунду;
- регистрация формы волны;

- возможность автоматической калибровки аппаратуры и установленных преобразователей;
- наличие аудио-и световой индикации АЭ активности;
- возможность дополнительного приобретения аксессуаров (датчики, предусилители);
- возможность объединения с другой системой для контроля большого объекта;
- возможность удалённого доступа.

Необходимо отметить, неодинаковый подход фирм производителей к публикации технических характеристик систем. Существуют разночтения в формулировках характеристик.

В процессе обработки АЭ данных важное место занимает качество, продуманность и возможности программного обеспечения.

На разных этапах обработки/анализа данных важными являются следующие параметры:

- построение диаграмм и графиков;
- фильтрация данных;
- локализация источников АЭ;
- возможности углубленного анализа данных;
- критериальная оценка;
- скорость работы;
- наличие вспомогательных утилит;
- совместимость с данными/программным обеспечением других производителей.

Список литературы

1. Семашко Н.А., Шпорт В.И., Марьин Б.Н. Акустическая эмиссия в экспериментальном материаловедении, Машиностроение. – 2002. – 240 с.
2. Грешников В.А., Дробот Ю.Б. Акустическая эмиссия. – М.: Изд. Стандартов, 1976. – 272 с.
3. Бырин В.Н. Проблемы акустико-эмиссионного контроля // Безопасность труда в промышленности. – № 1. – 2000. – С. 62.
4. ПБ 03–593–03 Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов / Утв. Постановлением Госгортехнадзора России от 9 июня 2002 г. № 77.

ОБ ОПЫТЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ БЕСКОНТАКТНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Г.Т. Карцев, Е.К. Канюков
Пермь

В настоящее время, как и в самом начале зарождения ультразвуковой дефектоскопии, неперенным условием её проведения является осуществление с помощью контактной жидкости акустических контактов между ультразвуковыми преобразователями и контролируемыми изделиями. Для обеспечения акустических контактов ультразвуковых преобразователей с поверхностью контролируемых изделий используют, как правило, разнообразные жидкости. Например, воду, глицерин, трансформаторное масло, водный раствор карбоксиметилцеллюлозы и др. в виде тонких слоёв контактной жидкости. В ряде случаев ультразвуковой контроль изделий проводится путём погружения контролируемых изделий в специальные ёмкости, заполненные иммерсионной жидкостью.